

# МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

## ПРАЦІ Таврійської державної агротехнічної академії



## Випуск 25 Наукове фахове видання



Мелітополь - 2005

УДК 621.311:631

П 3.8

Праці / Таврійська державна агротехнічна академія - Вип. 25, -  
Мелітополь: ТДАТА, 2005. – 176 с.

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТА,  
протокол № 5 від 25 січня 2005 р.

У випуску приведені результати теоретичних і експериментальних досліджень з проблем технології та механізації вирощування, зберігання і переробки сільськогосподарської продукції, які виконані згідно науково-технічної програми ІНДР ТДАТА.

Матеріали публікуються за результатами науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів та співробітників.

Випуск розрахований на широке коло науковців і фахівців сільськогосподарського виробництва, може бути корисним для аспірантів, магістрів і студентів технічних та сільськогосподарських спеціальностей.

### Редакційна колегія праць ТДАТА:

Крижачківський М.Л., - к.т.н., д.с.-г.н (Польща) (головний редактор),  
Кюрчев В.М. – к.т.н. (заст. головного редактора)  
Діордієв В.Т. - к.т.н., (відповідальний секретар), Дідур В.А. – д.т.н.,  
Зуєв О.О. - к.т.н., Кушнарьов А.С. – чл.-кор. УААН, д.т.н., Масюткін Є.П. – к.т.н., Надикто В. Т. д.т.н., Найдіш А.В. - д.т.н., Найдіш В.М. – д.т.н., Овчаров В.В. - д.т.н., Панченко А.І. – к.т.н., Просвірнін В.І. - д.т.н., Рогач Ю.П. - к.т.н., Скіяр О.Г. – к.т.н., Тарасенко В.В. - д.т.н., Шевченко І.А., - д.т.н., Ялпачик Ф.Ю. – к.т.н.

Відповідальний за випуск – зав. кафедрою “Механізація переробки сільськогосподарської продукції” к.т.н., доцент Ялпачик Ф.Ю.

Виконавець: к.т.н., доцент Гвоздев О.В. (каф. МПСГП)

Адреса редакції: ТДАТА

просп. Б. Хмельницького 18  
м. Мелітополь  
Запорізька обл.  
72312 Україна

ISBN 966-8428-03-X

© Таврійська державна  
агротехнічна академія, 2005.

УДК 621.86.067.2:621.565:664.8.037

## ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ПЛОДОВОЇ, ОВОЧЕВОЇ, ЯГІДНОЇ ПРОДУКЦІЇ І ПАРАМЕТРІВ ЖИВИЛЬНИКА-НАСОСА ФЛЮЇДИЗАЦІЙНОГО АПАРАТУ

Ломейко А.П., асистент\*

Гвардійська державна агротехнічна академія

Тел. (0619) 42-13-06

*Анотація* - в роботі приведені основні результати досліджень по вивченню процесу завантаження плодової, овочевої, ягідної продукції із одночасною відкачкою повітря живильником-насосом флюїдизаційних апаратів з середньою продуктивністю 600 кг/год. На основі теоретичних і експериментальних досліджень надані рекомендації по вдосконаленню флюїдизаційних апаратів малої продуктивності з метою зниження енерговитрат за рахунок зменшення надходження до морозильної камери вологого атмосферного повітря.

*Ключові слова* – живильник-насос, флюїдизаційний апарат, плодова, овочева, ягідна продукція, швидкість дії, пошкодження продукту.

*Постановка проблеми.* За даними Міжнародного інституту холоду, щорічно втрачається від 20 до 30 відсотків усіх вироблених у світі продуктів харчування, що складає майже мільярд тонн. Із зазначеної кількості не менш ніж 50 відсотків – це швидкопсувні продукти, збереження яких можливо тільки за допомогою холоду. Значною частиною з цих швидкопсувних продуктів є овочі, плоди і ягоди. [9] Ефективним шляхом збереження цих параметрів і скорочення втрат, а, отже, збільшення обсягів виробництва продовольчих ресурсів, є поширення виробництва швидкозамороженої продукції. У порівнянні з іншими методами консервування плодової, овочевої та ягідної продукції процес заморожування викликає мінімальні зміни їхньої живильної цінності, м'якості й органолептичних показників. [1]

Специфічною вимогою до швидкоморозильних апаратів [7], що працюють у складі ліній по переробці плодової, овочевої, ягідної продукції є їх універсальність щодо сировини, яка заморожується, тому найбільш повно задовольняють флюїдизаційні швидко-

\* Науковий керівник – к.т.н., доцент Стручасв М.І.

морозильні апарати зі стрічковим конвеєром. У той же час, існуючі на сьогоднішній день, флюїдизаційні апарати мають значні енерговитрати, що не сприяє розвитку технології заморожування на сільськогосподарських переробних підприємствах. [2]

Виходячи з вищевикладеного, актуальність теми в тім, що для рішення задач по зниженню енерговитрат флюїдизаційних апаратів необхідне створення машин та пристроїв, що працюють по енергозберігаючим технологіям, і мають високий технічний рівень.

*Аналіз останніх досягнень.* Значний внесок у вирішенні цієї проблеми зробили такі вчені як: Д.А. Христодуло, Д.Г. Ботов, Г.Б. Чижов, Н.А. Головкін, И.Г. Чумак, а також іноземні дослідники – Р. Планк, Т. Лорентц. Ці та інші вчені заклали основні принципи технологічних розрахунків для створення ефективних технічних засобів механізації при обробці холодом. [9]

Аналіз існуючих факторів флюїдизаційних швидкоморозильних апаратів, що впливають на енерговитрати, показує, що основними є робота відцентрових вентиляторів для підтримування продукту в зваженому стані і робота компресорів холодильних установок. У той же час, слід зазначити на істотні додаткові енерговитрати (близько 15%), пов'язані з теплопритоками, втратою холоду і проникнення в морозильну камеру вологого атмосферного повітря, на виморожування волог з якого витрачається електроенергія. [2]

На основі проведеного аналізу процесу заморожування плодової, овочевої, ягідної продукції, а також вивчення проблем і проведених досліджень у даному напрямку, були зроблені наступні висновки:

1. Найбільш ефективним способом консервування і тривалого збереження плодової, овочевої, ягідної продукції є швидке заморожування;

2. Для заморожування даного виду продукції на сільськогосподарських переробних підприємствах найбільше раціонально використовувати флюїдизаційні апарати малої продуктивності;

3. Існуючі флюїдизаційні апарати малої продуктивності мають великі енерговитрати;

4. Підвищені енергетичні витрати даного класу апаратів пов'язані з надходженням вологого атмосферного повітря одночасно з продуктом у камеру заморожування через вікно завантаження;

5. Існуючі рішення даної проблеми не ефективні або дорогі;

6. Для подальших досліджень вибираємо флюїдизаційні апарат малої продуктивності (до 800 кг/год) для заморожування дрібних і здрібнених овочів, плодів і ягід на сільськогосподарських переробних підприємствах, за умови максимального зниження енерговитрат.



За роботу гіпотезу були прийняті наступні допущення:  
 енерговитрати на виморожування вологи з атмосферного повітря, надійшло одночасно з продуктом у морозильну камеру флюїдизаційного апарату малої продуктивності, істотні;  
 запропонований пристрій для завантаження зменшить пошкодження атмосферного повітря одночасно з продуктом;  
 даний спосіб завантаження продукту з одночасною відкачкою атмосферного повітря дозволить понизити енерговитрати флюїдизаційного апарату малої продуктивності.

*Постановка завдання.* На основі аналізу літературних джерел виконано постановку наукової задачі і сформульовано мету - створити пристрій для завантаження плодової, овочевої, ягідної продукції з одночасною відкачкою атмосферного повітря, що дозволить зменшити енерговитрати флюїдизаційного апарату малої продуктивності.

*Основна частина.* Теоретичні дослідження існуючих конструкцій об'ємних живильників та вакуумних насосів дозволили створити конструкцію живильника-насосу (рис.1) для дозованої подачі подрібнених або м'яких плодів, овочів, ягід до флюїдизаційного апарату з одночасною відкачкою атмосферного повітря. [8,10]

Технологічний процес роботи живильника-насоса такий: з камери продукція через завантажувальне вікно бункера 5 потрапляє у робочу полость корпусу 4, яка утворюється суміжними пластинчастими лопатями 3 та торцевими кришками 8. Далі продукт, який захоплюється лопаттю, внаслідок обертання ротору 2 відкачується від завантажувального вікна і потрапляє у зону нагнітання. За рахунок зменшення робочої комірочки повітря відкачується і частково витискається з корпусу крізь перфоровану перегородку 15 та нагнітаючий патрубок 14. Під дією тиску, що створився в нагнітаючому патрубку, клапан 13 відчиняється і повітря витискається у атмосферу. Лопаті поступово входять у пази ротора, відкачуючи пластинчасті пружини, і продовжують дозовану подачу продукції до завантажувального вікна корпусу, звідки через направляючий рукав 1 завантажувється до флюїдизаційного апарату на виморожування. Привід живильника-насосу здійснюється від електродвигуна через клинопасову передачу.

Між ротором та корпусом за рахунок ексцентриситету створений технологічний зазор  $\xi$ , який виключає пошкодження продукції. Регулювання даного зазору здійснюється за рахунок зміни величини ексцентриситету  $e$ , в залежності від виду продукції. Клапан регульований на атмосферний тиск і виключає всмоктування атмосферного повітря через нагнітаючий патрубок. Направляючий

рукав має заокруглені сторони, що забезпечує направлений рух продукту на виході з живильника-насоса, зменшуючи при цьому пошкодження продукції. Перфорована перегородка має отвори і може змінюватися в залежності від розміру завантажувальної продукції, аби виключити її нагнітання разом з повітрям у патрубок.

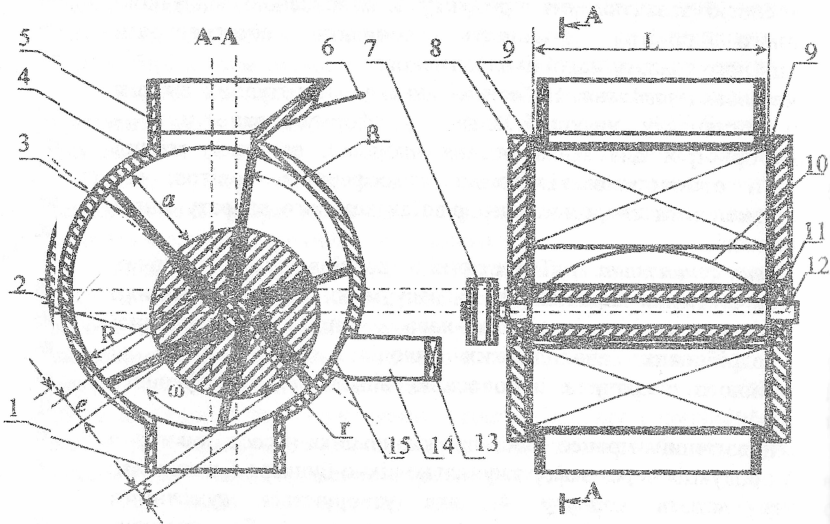


Рис. 1. Конструктивна схема живильника-насоса:

1 - направляющий рукав; 2 - ротор; 3 - пластинчатые лопатки; 4 - корпус; 5 - завантажувальний бункер; 6 - регулювальна тяга; 7 - шків; 8 - кришка; 9 - прокладки; 10 - пластинчаті пружини; 11 - підшипниковий вузол; 12 - вал ротору; 13 - клапан; 14 - патрубок видалення повітря; 15 - перфорована перегородка.

При подачі овочевої, плодової і ягідної продукції у флюїдизаційний апарат живильником-насосом одночасно надходить атмосферне повітря окремими порціями, тому швидкість дії живильника-насоса можна розглядати як сумарний об'єм повітря, що відкачується окремими комірками в одиницю часу: [3]

$$S_r = (C \cdot e \cdot R - F_0) \cdot z \cdot n \cdot L, \quad (1)$$

де  $S_r$  - теоретична швидкість дії,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$C$  - коефіцієнт, що враховує вплив числа лопаток, відносного ексцентриситету  $\bar{\lambda}$  та фізико-механічних властивостей плодів, овочів і ягід;

$e$  - ексцентриситет ротору живильника-насоса,  $\text{м}$ ;

$R$  - радіус корпусу живильника-насоса, м;

$F_0$  - мінімальна площа комірки живильника-насосу,  $\text{м}^2$ , (на рис.2 відповідає площі 1'2'3'4');

$z$  - число лопатів, шт.;

$n$  - частота обертання ротору, об/с;

$L$  - довжина ротору, м.

Залежність фізико-механічних властивостей плодів, овочів, ягід, зокрема їх розмір, форма, твердість, враховує технологічний зазор  $\xi$  між ротором та корпусом (рис.2). Математична залежність теоретичної швидкості дії живильника-насосу від його конструктивних параметрів і фізико-механічних властивостей продукції враховується коефіцієнтом: [3]

$$C = z \cdot \left( \beta + 2 \cdot \sin \frac{\beta}{2} + \frac{\bar{\lambda}}{4} \cdot \sin \beta - \frac{\bar{\lambda} \cdot \beta}{2} + \bar{\xi}_e \cdot \beta - \bar{\xi}_R \cdot \beta - \bar{\xi}_e \cdot \bar{\xi}_R \cdot \frac{\beta}{2} \right), \quad (2)$$

де  $\beta$  - кут між двома суміжними радіальними лопатями, рад;

$\bar{\lambda}$  - відносний ексцентриситет;

$\bar{\xi}_e$  - відносний зсув ротору;

$\bar{\xi}_R$  - відносний зазор живильника-насоса.

$$\bar{\lambda} = \frac{e}{R}, \quad (3)$$

$$\bar{\xi}_e = \frac{\xi}{e}, \quad (4)$$

де  $\xi$  - технологічний зазор між ротором и корпусом живильника-насоса при  $\varphi = 180^\circ$  (рис.2), м;

$$\bar{\xi}_R = \frac{\xi}{R}. \quad (5)$$

Теоретична залежність мінімальної площі комірки живильника-насоса від його конструктивних параметрів та властивостей плодів, овочів, ягід визначається: [3]

$$F_0 = \frac{1}{2} \cdot \bar{\lambda} \cdot R^2 \cdot \beta \cdot \left( 2 - \bar{\lambda} + 2 \cdot \bar{\xi}_e - 2 \cdot \bar{\xi}_R - \bar{\xi}_e \cdot \bar{\xi}_R \right) + \frac{1}{4} \cdot \bar{\lambda}^2 \cdot R^2 \sin \beta - \bar{\lambda} \cdot R^2 \cdot \sqrt{1 - \bar{\lambda}^2 \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2}} \cdot \sin \frac{\beta}{2} - R^2 \cdot \arcsin \left( \bar{\lambda} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \right). \quad (6)$$

Теоретичні дослідження робочого процесу живильника насоса дозволили визначити, що при великій кількості лопатів ( $z > 14$ ) значно зменшується об'єм між суміжними лопатями, що може збільшити пошкоджуваність продукції. Однак варто врахувати, що при  $z \leq 4$ , вікна завантаження і вивантаження будуть у певний

момент взаємодії із зоною відкачки повітря, що істотно знизить ефективність використання живильника-насоса. Теоретично число лопатів живильника-насоса визначається: [3]

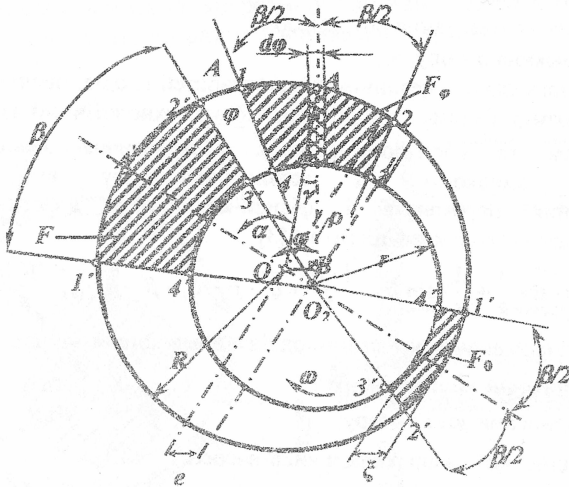


Рис. 2. Зміна площі поперечного перетину комірки живильника-насоса з радіальними лопатями при повороті ротора на кут  $\varphi$ .

$$z = \pi \cdot \sqrt{\frac{R \cdot (\lambda + 2)}{3 \cdot \delta \cdot (2 + \xi_c)}}, \quad (7)$$

де  $\delta$  - товщина лопаті, м.

Основним фактором, що впливає на величину ексцентриситету, є твердість продукту. Крім того, розмір ексцентриситету обмежений припустимою глибиною пазу ротора, міцністю лопаті, а також діаметром і припустимою висотою шару продукції у живильнику-насосі. Таким чином було встановлено, що ексцентриситет може приймати значення в межах: [3]

$$e = (0,05 \dots 0,2) \cdot R. \quad (8)$$

Довжина ротору повинна приблизно дорівнювати ширині завантажувального вікна флоридизаційного апарату. У цьому випадку пошкоджуваність дрібних або подрібнених овочів, плодів і ягід у момент їхнього завантаження, подачі і вивантаження з живильника-насоса буде мінімальною, а лопаті в зоні вивантаження і завантаження не будуть випадати з корпусу.

Тоді величина довжини ротора живильника-насоса знаходиться в межах: [3]

$$L = (1,05 \dots 1,1) B_{ок}, \quad (9)$$

де  $B_{ок}$  - ширина завантажувального вікна флюїдизаційного апарату, м.

Теоретичні дослідження руху продукту у живильнику-насосі дозволили розробити методику [6], яка дозволяє визначити раціональні кути розташування вікон завантаження і розвантаження продукції, а також вікна відкачки повітря, що дозволяє зменшити їхню власмодію, а також сприяє найбільш ефективній відкачці повітря з живильника-насоса. Раціональні значення даних кутів залежать від технічної характеристики флюїдизаційного апарату, для якого проєктується живильник-насос.

Відповідно до проведених теоретичних досліджень зроблено висновок, що коефіцієнт відкачки  $\lambda$  залежить, найбільше, від вибору числа допотів  $z$ , частоти обертання ротору  $n$  живильника-насоса, а також вибору мінімальних робочих зазорів: [3]

$$\lambda = 1 - \frac{m_n}{\rho_{вс} \cdot n \cdot L \cdot z \cdot (C \cdot e \cdot R - F_0)}, \quad (10)$$

де  $m_n$  - внутрішні перетікання повітря, кг/с;

$\rho_{вс}$  - щільність повітря перед завантажувальним вікном живильника-насоса, кг/м<sup>3</sup>.

На основі теоретичних досліджень робочого процесу запропонованого живильника-насоса обґрунтовано параметри і режими роботи пристрою для дозованої подачі м'якої або подрібненої плодової, овочевої, ягідної продукції та відкачки повітря. Проведений аналіз впливу конструктивних параметрів на процес відкачування атмосферного повітря, як бачимо з формули (1), дає можливість одержати теоретичну залежність швидкості живильника-насоса, з урахуванням фізико-механічних властивостей плодів, овочів, ягід.

Для перевірки достовірності теоретичних залежностей проведено серію експериментів, з метою виявлення ступеня впливу різних факторів на процес відкачки повітря при дозованій подачі овочевої, плодової і ягідної продукції живильником-насосом і обґрунтування раціональних конструктивно - технологічних параметрів. [4,5]

Для проведення подальших досліджень вибиралися районовані сорти овочів, плодів і ягід у південних регіонах України, що рекомендуються до заморожування у флюїдизаційних апаратах: картопля сорту Лорх, нарізана кубиками (свіжа очищена картопля - MSZ 11853-69; органолептичні показники MHVSZ 12-21-01/72), черешня Мелітопольська чорна (черешня свіжа - MSZ 6304-68 або ДСТ 21922-76; органолептичні показники - MHVSZ 11-01-01/72 або ДСТ 111-8-82), смородина чорна Голяф (свіжі ягоди смородини -

MSZ 6308-73 або ДСТ 6829-69; органолептичні показники – MHVSZ 11-09-01/72). [1]

В результаті досліджень [4,5] були виявлені критерії оптимізації (швидкість дії та пошкодження продукції), обґрунтовані фактори (частота обертання, число лопатів та відносний ексцентриситет) та рівні їх варіювання, отримані експериментальні моделі робочого процесу. Для опису досліджуваного процесу в області оптимуму використано плани для трьох факторів Бокса - Бенкіна, які надають можливість одержати функцію відгуку – математичну модель у вигляді полінома другого порядку. За допомогою критерію Фішера було доведено, що отримані моделі адекватні на 95%-вому рівні імовірності.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням активних експериментів, результати яких оброблялися методами математичного планування експериментів і математичної статистики.

Статистична обробка результатів експериментальних досліджень проводилася за допомогою IBM-сумісних ПК з використанням табличного процесора Excel.

Експериментальні дослідження проводилися на лабораторній установці розробленій на базі Таврійської державної агротехнічної академії (рис.3).

Аналіз закономірностей впливу варійованих факторів при визначенні конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи живильника-насосу виконувався за допомогою парних взаємодій факторів. [4,5]

Аналізуючи результати експериментів, зроблено висновок, що число лопатів  $z$  повинно бути не менше 8 шт. і не більш 12 шт., що підтверджує теоретичні припущення. Частота обертання  $n$  має найбільш істотний вплив на критерії оптимізації, а її оптимальне значення знаходиться у межах від 0,33 до 1,67 об/с і залежить від обраного ексцентриситету ротору живильника-насоса  $\bar{\lambda}$  з раціональними значеннями від 0,05 до 0,2, який в свою чергу залежить від фізико-механічних властивостей плодів, овочів, фруктів.

На основі проведених досліджень обґрунтовані раціональні режими режимів роботи живильника-насоса для окремих видів овочевої, плодової та ягідної продукції. [4,5]

У процесі досліджень встановлено, що застосування живильника-насоса дозволяє знизити енерговитрати флюїдизаційного апарату малої продуктивності до 8%. Результати науково-дослідної роботи по зниженню енерговитрат флюїдизаційного апарату малої продуктивності впроваджені в сільськогосподарських підприємствах Південного регіону України. У СТОВ „Краса Херсонщини” Каховського району Херсонської області за рахунок вдосконалення

процесу завантаження продукції до флюїдизаційного апарату економічний ефект від впровадження за період з 1.06.04 по 1.09.04р. складає 1441 гривень за 270т замороженої плодової, овочевої та агідної продукції у порівнянні із базовим варіантом. На Мелітопольській державній сортодослідній станції економічний ефект від впровадження результатів науково-дослідної роботи за період з 1.06.04 по 1.10.04р. складає 180гривень за 26,5т замороженої плодової продукції. Строк окупності живильника-насоса складає при цьому - 0,41 року.

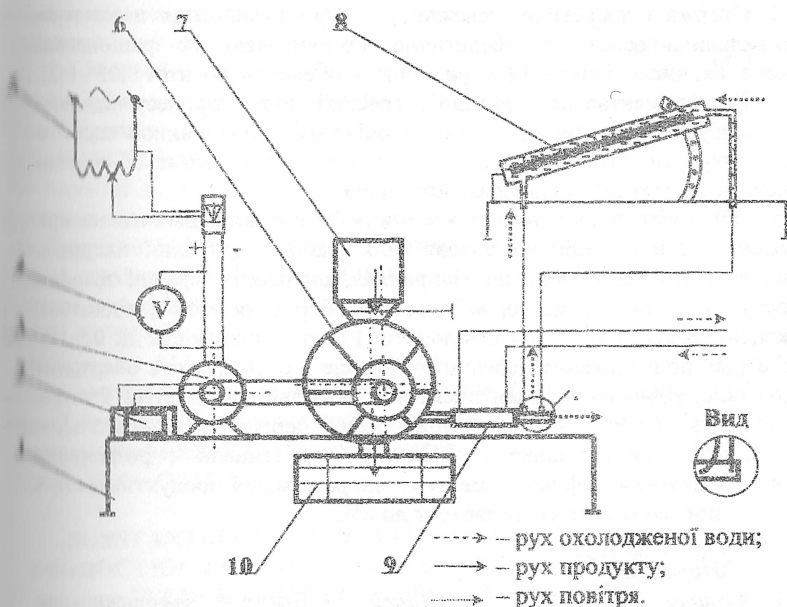


Рис. 3. Схема лабораторної установки:

1 — станина; 2 — тахометр; 3 — привід живильника-насоса; 4 — вольтметр; 5 — джерело живлення; 6 — живильник-насос; 7 — завантажувальний бункер; 8 — мікроманометр для визначення швидкості дії живильника-насоса; 9 — теплообмінник; 10 — вивантажувальний бункер.

Науково-технічна документація і рекомендації по зменшенню енерговитрат флюїдизаційного апарату були передані на ТОВ „Холодильна компанія” м. Мелітополя Запорізької області.

**Висновки.** Виконані теоретичні і експериментальні дослідження технологічного процесу завантаження продукції живильником-